

La fotónica, ayer y mañana

José Antonio Martín-Pereda
Universidad Politécnica de Madrid

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/7116>

La Ingeniería ha ido, a lo largo de los siglos, adaptándose casi siempre a lo que la tecnología iba dictaminando en cada momento. Gracias a ello ha podido satisfacer muchas veces las necesidades que la sociedad demandaba en cada ocasión, mientras que otras, por el contrario, ha servido para encaminar los deseos de esa sociedad por senderos que esta jamás hubiera pensado.

Cada tecnología se ha ido superponiendo a las que existían antes que ella y ha sido el escalón necesario para pasar a la siguiente. Así, el siglo XX nació con el esplendor de la Electricidad, llegó a su cenit con la gloria de la Electrónica y concluyó con el auge de la Fotónica.

Entre medias, muchos otros campos vieron también cómo la sociedad les hacía partícipes del descubrimiento de nuevos horizontes y basaba en ellos nuevas ramas del saber. Nuevos materiales, con propiedades nunca soñadas antes, aparecían en múltiples actividades; tecnologías relacionadas con las ciencias de la vida ayudaban a resolver problemas antes insolubles; nuevos ordenadores y nuevos sistemas de comunicaciones imponían un ritmo nuevo a cada actividad humana. Los últimos años del siglo XX impulsieron, a su vez, una nueva filosofía de trabajo en cada una de esas actividades. Si durante un tiempo, cada ciencia o cada tecnología parecía casi una isla separada del resto por océanos infranqueables, a partir de los años ochenta nació una nueva idea que casi había sido abandonada desde los tiempos del Renacimiento: que todas ellas estaban relacionadas y todas ellas podían ayudar en el desarrollo del resto. El concepto de pluridisciplinariedad o de multidisciplinariedad fue tomando cuerpo y ya todas empezaron a buscar

senderos que las aproximasen. Ideas fructíferas de unas podían servir de base en otras; desarrollos alcanzados en algunas podían ayudar al desarrollo del resto.

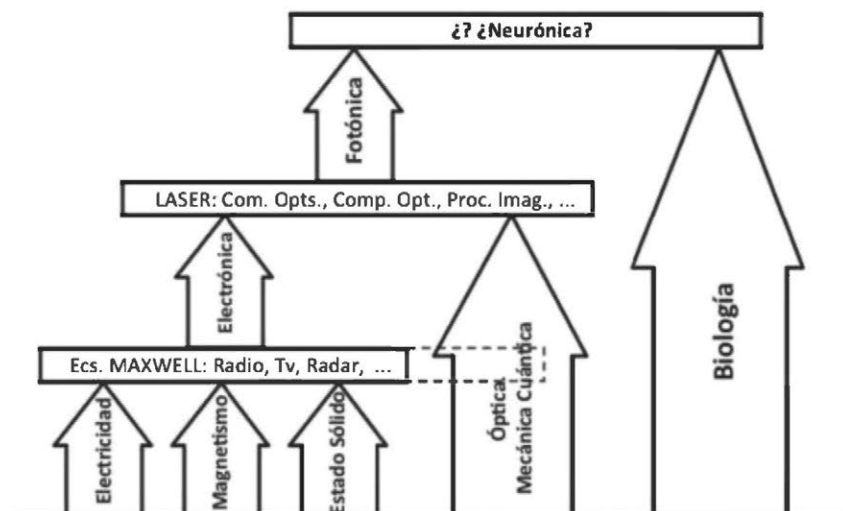
El caso de la Fotónica, que es el que aquí vamos a tratar hoy, es un caso claro de cómo la pirámide de la Ciencia y la Tecnología se ha ido formando por la aproximación de campos contiguos. Si gracias a las ecuaciones de **Maxwell** se pudieron unir la Electricidad, el Magnetismo y las propiedades del Estado Sólido conocidas, y de esa unión pudo nacer la Electrónica con la radio, la televisión y el radar, la unión de todos ellos con la Óptica y la Mecánica Cuántica, dio lugar al nacimiento del máser en 1957 y, posteriormente, del láser, en 1960.

Einstein había publicado en 1918 unas ecuaciones que casi habían pasado desapercibidas; anunciaba el concepto de la emisión espontánea pero su interés para los campos entonces existentes era prácticamente nulo. Solo tras los avances en microondas originados por la Segunda Guerra Mundial se apreció lo que aquel concepto podía generar. Americanos y soviéticos lo entendieron muy pronto y ambos se esforzaron por hacer nacer al máser. Muy poco después **Maiman**, en 1960, llegó por fin al máser óptico, esto es al láser. En

breves años, no más de hasta 1965, se habían planteado ya todos los conceptos que gobernaban el nuevo entorno y se habían desarrollado la mayor parte de los láseres que conocemos hoy.

Había aparecido una herramienta que se intuía era muy potente, pero faltaba darle aplicaciones. Y esas llegaron a los pocos meses. Las comunicaciones, el procesamiento de materiales, la medición de distancias, aparecieron pronto en múltiples artículos y patentes por todo el mundo. La “solución a la búsqueda de un problema”, como se designó al láser en los primeros años, había encontrado pronto múltiples problemas que resolver. Todo ello configura el entorno que hoy conocemos como Fotónica.

La Fotónica está hoy en casi todas nuestras actividades diarias. En el supermercado nos leen el código de barras con un escáner hecho con un láser de semiconductor; en casa cambiamos de canal con un mando que emite la radiación de un LED hacia el detector del televisor y oímos la música de un CD gracias a otro láser que recorre sus surcos; nuestra miopía es corregida gracias a un láser que moldea nuestra cornea; el aparejador que va a hacernos un obra en casa mide la distancia entre las paredes de una habitación con un medidor láser; los programas de televisión y nuestra conexión a internet, alcanza nuestros hogares gracias a una radiación láser que circula a través



de una fibra óptica. Los grandes y potentes ordenadores de los centros de computación intercambian información entre sus chips gracias a mínimas guías por las que circula la luz con los datos. La lista podría extenderse páginas y páginas. Y la pregunta que podríamos hacernos es, ¿qué más queda por llegar? Casi nos encontramos como al principio de los sesenta del pasado siglo: tenemos una herramienta muy poderosa a la que todavía es necesario seguir planteando problemas para que pueda resolverlos. Y, ¿dónde se pueden encontrar esos problemas?

Dos son los entornos en los que el campo de actividad puede ser todavía fructífero. Uno es continuación del de arranque del propio láser. El láser nació gracias a conceptos cuánticos que antes muy escasamente habían entrado en la Tecnología. De hecho, la mayor parte de las actividades que hoy tiene la Fotónica estaban incorporadas a un entorno que se conoció en sus primeros años con el nombre de Electrónica Cuántica; hoy la Electrónica Cuántica tiene su campo de acción bien definido y la Fotónica le engloba o no dependiendo de quién le considere. Pero algunos de los últimos premios Nobel, y en concreto los de 2012, **Serge Haroche** y **David Wineland**, han mostrado un camino que está aun por recorrer. Es el del estudio de los procesos en los que intervienen átomos y fotones de manera individual. El conocer el estado de un fotón sin que nuestra observación del mismo altere su estado ha sido siempre uno de los problemas a los que no se podía dar solución. Haroche y Wineland demostraron que si era posible observarlo. La instrumentación requerida es realmente sofisticada y las posibilidades de llevarla a cabo están hoy por hoy fuera de lo que pudiéramos designar como tareas de la vida cotidiana. Pero el camino está trazado y, si se sigue por él, quizás algún día se pueda llegar a lo que los augures designan como un computador cuántico, un computador que juega con *qbits* en lugar de con los bits tradicionales y en el que los estados de las unidades de información ya no están perfectamente definidos, no son simplemente unos o ceros, sino que lo están en superposiciones de estados. Dada la imposibilidad de entrar aquí en más detalle sólo procede apuntar algunas de las consecuencias: las

velocidades de computación podrían multiplicarse por cifras no soñadas y la posibilidad de conseguir el envío de información encriptada sin posibilidad de des-encriptación total. Pero el camino que queda por recorrer es aún muy largo y posiblemente no lo será en su totalidad, con la realización de un ordenador cuántico asequible para muchos, hasta dentro de varias décadas.

El otro camino puede ser el que aparece representado como continuación de la pirámide en la Figura anterior. Es el que enlaza con el camino de la Biología y de las Ciencias de la Vida. Existe ya un campo muy definido que es el de la Biofotónica. En él, la luz y sus múltiples herramientas actúan como instrumentos para la detección de propiedades de la materia orgánica así como a su tratamiento. Lo conseguido hasta hoy nunca antes se hubiera podido soñar. La dermatología, la oftalmología a que se ha hecho alusión antes, la diagnosis y la terapia de algunos tipos de cáncer, la cirugía o la cardiología son algunas de las áreas con más avances en este campo. También existe la Neurofotónica, en la que ya el objetivo final es el uso de técnica fotónicas para el estudio de los fenómenos relacionados con la neurofisiología del cerebro. Intentos de tratamiento de la epilepsia, del autismo o de la esquizofrenia se encuentran dentro de los objetivos de este entorno.

Pero existe, finalmente, otro posible camino que es al que se ha referido el autor de estas líneas en la publicación: *"Fotones y neuronas: otras puertas de la percepción"*¹.

La Fotónica ha constituido desde sus inicios, como ya se ha comentado, una formidable herramienta para resolver innumerables problemas que estaban sin resolver. Pero en dichos planteamientos la Fotónica ha actuado siempre como mero instrumento que actuaba sin apenas "aprender" nada del entorno sobre el que actuaba. El láser actuaba, por ejemplo, sobre la cornea para corregir su curvatura o sobre el agujero macular para repararlo, pero no sacaba

ninguna lección de cómo funcionaba la retina o cómo se interconectaban las neuronas que la configuran para detectar movimientos. Y aquí es donde entra en escena el posible nuevo campo de actividad de la Fotónica.

La neurofisiología ha partido, desde sus inicios, del estudio de anomalías que se daban en determinados pacientes para extraer consecuencias sobre cómo funciona el cerebro. Así, **Broca** y **Wernike**, en el siglo XIX, determinaron dónde se encontraban en el cerebro las zonas que controlaban el lenguaje merced a pacientes que sufrían ciertos trastornos del habla. Y gracias al accidente que sufrió **Phineas Gage** en 1848, en el que una barra de hierro le atravesó la parte frontal del cerebro, pudo conocerse a finales del siglo XX cuál era la porción del cerebro en el que radicaba el comportamiento social del ser humano. De análoga manera, analizando ciertas anomalías que se producen en el reconocimiento de imágenes, como las que mostró la escuela de la Gestalt en Alemania a principios del siglo XX, o en la percepción de los colores, como estudiaron algunos miembros de la *Bauhaus* a partir de los años 20 del pasado siglo, podría conocerse mejor cuál es la configuración de las arquitecturas neuronales que permiten en el cerebro la percepción visual. La Biología puede ser así una fuente de nuevos conceptos para ser aplicados en la Fotónica.

La importancia de lo anterior se basa en el hecho de que el sistema visual de los seres vivos es el fruto de una lenta evolución a través de los siglos para adaptarle a las necesidades de cada animal. Las soluciones encontradas por la Naturaleza en su proceso de "prueba y error" no deberían ser desaprovechadas. Una tarea de mimesis sensorial podría redundar en el desarrollo de sistemas sensoriales artificiales con unas prestaciones posiblemente superiores, por lo que en algunos casos tienen de eficientes, a las realizadas por métodos tradicionales. Además, esta mimesis redundaría en la posibilidad de detectar ciertas impresiones de carácter subjetivo que muy difícilmente podría implementarse a través de los sistemas convencionales.

Un ejemplo muy directo de lo anterior lo tenemos en una de las realizaciones

¹ "Fotones y Neuronas: otras puertas de la percepción", Real Academia de Ingeniería, 2014. <http://www.raing.es/es/publicaciones/lecciones-inaugurales/fotones-y-neuronas-otras-puertas-de-la-percepcion>

presentadas mediante la cual es posible detectar, de una manera directa, las posibles simetrías o asimetrías que están presentes en una determinada escena. La detección de la simetría es una de las características más inmediatas del sistema visual de los seres humanos. Los arquitectos de toda las épocas han tenido siempre este concepto en mente cuando han diseñado sus grandes obras, bien para mantener una rigurosa simetría o bien para alterarla en la manera más adecuada para obtener una cierta belleza en un edificio. El ojo humano es capaz de captar de manera directa la presencia o no de simetría. Y esto puede hacerlo simplemente gracias a un proceso realizado en muy pocas capas de neuronas y por medio de una arquitectura muy simple. La mimesis de estas estructuras mediante circuitos fotónicos, realizados bien mediante fibra óptica o por óptica integrada, permite llevar a cabo configuraciones que determinen propiedades, normalmente consideradas como subjetivas y que el ser humano lleva a cabo de manera automática.

De análoga manera, del estudio de las ilusiones visuales, que la *Gestalt* alemana planteó de forma exhaustiva a lo largo del inicio del siglo XX y que pueden ser interpretadas en función de los trabajos llevados a cabo por **Hubel** y **Wiesel** en 1977, pueden plantearse configuraciones fotónicas que determinen de forma directa las orientaciones de líneas o rendijas de luz así como mínimos movimientos de las mismas. El modelo de Hubel y Wiesel,

que indica que cada orientación de una línea es detectada en una minúscula región del córtex visual, permite por ejemplo justificar las sensaciones que se presentan ante nosotros cuando se contempla cualquier obra de un artista del Op Art (Optical Art): aunque las líneas del cuadro son líneas fijas, la impresión que se tiene en muchos casos es que se encuentran en movimiento. La simple mirada del observador es la que superpone la sensación de movimiento. ¿De dónde procede esta sensación? La respuesta no está del todo clara, pero radica con toda seguridad en las mínimas interacciones que pueden aparecer entre dos regiones próximas del modelo de Hubel. La Fotónica, por comparación con lo que ocurre en una de sus ramas, la Óptica Integrada, puede aportar alguna idea de cómo tiene lugar lo anterior. A su vez, este efecto puede ser manantial de ideas para la configuración de dispositivos de detección de imágenes. La Fotónica es así receptora de ideas de otros campos y suministradora de conceptos para la interpretación de fenómenos en ellos. No es sólo suministradora de herramientas para otras tecnologías, como ha sido casi siempre hasta aquí.

Todo lo visto hasta aquí no es, como puede intuirse, mas que un breve boceto de un campo que ya tiene más de cincuenta años. Creció inicialmente de forma muy rápida gracias a que se sirvió para su desarrollo de las bases dadas por muchos otros campos; llegó en pocos años a lo que en otras tecnologías se considera la madurez gracias a las

innumerables aplicaciones en todas las áreas de actividad del ser humano que encontró. Y finalmente se encuentra hoy en un área mucho más sofisticada que la que tienen muchos otros entornos porque, al fin, se enfrenta con el mundo cuántico que es en el que nació.

PARA SABER MÁS

- José A. Martín Pereda, "*Fotones y Neuronas: otras puertas de la percepción*". Real Academia de Ingeniería. 2014. <http://www.raing.es/es/publicaciones/lecciones-inaugurales/fotones-y-neuronas-otras-puertas-de-la-percepcion>
- José A. Martín Pereda, "*El láser: orígenes militares y aplicaciones civiles*". Cátedra IISdefe. <http://catedraisdefe.etsit.upm.es/2011/09/05/el-laser-origenes-militares-y-aplicaciones-civiles/>
- José A. Martín Pereda, "Mundo cuántico, relojes y computación". Revista electrónica mi+d. <http://www.madrimasd.org/informacionldi/analisis/analisis/analisis.asp?id=54828>
- José A. Martín Pereda, "La luz, protagonista en 15 ocasiones". El País. http://elpais.com/diario/2009/10/07/futuro/1254866402_850215.html
- Saleh, B. E. A., and M. C. Teich. "*Fundamentals of Photonics*". New York, NY: John Wiley and Sons, 1991.
- Verdeyen, J.T., "Laser Electronics". 3rd ed. Prentice Hall. 1995.
- Hecht, E., and A. Zajac. "*Optics*". 3rd ed. Reading, MA: Addison-Wesley, 1997.
- Svelto, O. "*Principles of Lasers*". New York, NY: Springer-Verlag, 2004.
- Yariv, A. "*Optical Electronics in Modern Communications*". 5th ed. New York, NY: Oxford University Press, 1997.

